

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-311237

(43)Date of publication of application : 02.12.1997

(51)Int.Cl.

G02B 6/13

(21)Application number : 09-007533

(71)Applicant : KAGAKU GIJUTSU SHINKO JIGYODAN  
MIURA SEIKI

(22)Date of filing : 20.01.1997

(72)Inventor : MIURA SEIKI  
KENESU DEIBISU  
HIRAO KAZUYUKI

(30)Priority

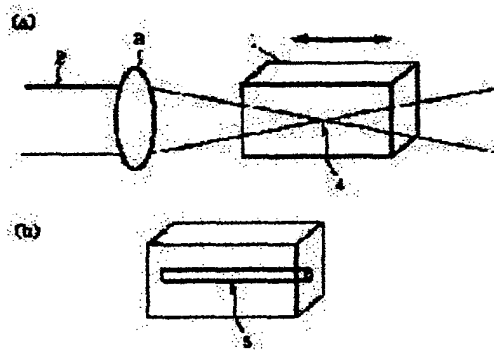
Priority number : 08 88920 Priority date : 18.03.1996 Priority country : JP

## (54) OPTICAL WAVEGUIDE AND ITS MANUFACTURE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form an optical waveguide in a glass material by irradiating this material with a laser having a high peak output value.

SOLUTION: A glass sample 1 is continuously condensed and irradiated with the pulse laser beam 2 having peak power intensity of  $\geq 105\text{W}/\text{cm}^2$  and a repeating frequency of  $\geq 10\text{kHz}$ . This sample 1 is continuously moved along the optical axis direction of the pulse laser beam 2 or the sample 1 is continuously scanned with the focusing point 4 of the pulse laser beam 2 at the time of the irradiation with the laser. Various kinds of glass, etc., having high transparency are used for the sample 1. The condensing point 4 induces the light induced change in the refractive index and the locus of the focusing point 4 is written as an optical waveguide 5 into the sample 1.



## LEGAL STATUS

[Dat of request for examination]

14.12.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Dat of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Dat of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Dat of extinction of right]



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-311237

(43) 公開日 平成9年(1997)12月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/13

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 6/12

技術表示箇所

M

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平9-7533

(22) 出願日 平成9年(1997)1月20日

(31) 優先権主張番号 特願平8-88920

(32) 優先日 平8(1996)3月18日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(71) 出願人 596016476

三浦 清貴

奈良県奈良市朱雀1-13-22

(72) 発明者 三浦 清貴

奈良県奈良市朱雀1-13-22

(72) 発明者 ケネス デイビス

奈良県奈良市左京4-2-12

(72) 発明者 平尾 一之

京都府相楽郡木津町木津川台3-5-8

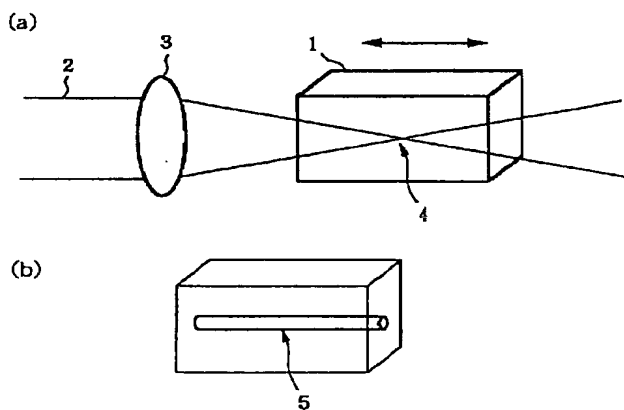
(74) 代理人 弁理士 小倉 亘

(54) 【発明の名称】 光導波路及びその作製方法

(57) 【要約】

【目的】 ピーク出力値が高いレーザを照射することにより、ガラス材料の内部に光導波路を形成する。

【構成】 ピークパワー強度  $10^5 \text{ W/cm}^2$  以上、繰返し周波数  $10 \text{ KHz}$  以上のパルスレーザ光2をガラス試料1に連続的に集光照射する。レーザ照射に際しては、パルスレーザ光2の光軸方向に沿って試料1を連続的に移動させ、或いは試料1に対してパルスレーザ光2の集光点4を連続的に走査させることが好ましい。試料1には透明度の高い種々のガラス等が使用され、集光点4が光誘起屈折率変化を起こし、集光点4の軌跡が光導波路5として試料1の内部に書き込まれる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光の集光照射により屈折率が変化した部分がガラス材料の内部に連続して形成されている光導波路。

【請求項2】 ガラス材料が酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス又はカルコゲナイドガラスである請求項1記載の光導波路。

【請求項3】 光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量をもつレーザ光をガラス材料の内部に集光し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させ、連続した屈折率変化領域をガラス材料の内部に形成する光導波路の作製方法。

【請求項4】 集光点におけるピークパワー強度が $10^5 \text{ W/cm}^2$ 以上のレーザ光を使用する請求項3記載の光導波路の作製方法。

【請求項5】 繰返し周波数10KHz以上のパルスレーザ光を使用する請求項3又は4記載の光導波路の作製方法。

【請求項6】 ガラス材料として酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス又はカルコゲナイドガラスを使用する請求項3～5の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項7】 レーザ光の集光点に対しガラス材料を連続的に移動させる請求項3～6の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項8】 ガラス材料の内部でレーザ光の集光点を連続的に移動させる請求項3～6の何れかに記載の光導波路の作製方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、レーザ照射によってガラス材料の内部に屈折率変化領域が連続して形成された光導波路及びその作製方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光通信等において使用される光導波路は、イオン交換法、火炎加水分解法等でガラス等のガラス材料の内部に形成されている。イオン交換法では、金属膜のスリット状開口からガラス基板表面層に $\text{Ag}^+$ イオンを熱的に侵入させ、ガラス中の $\text{Na}^+$ イオンと $\text{Ag}^+$ イオンを交換する第1段のイオン交換により表面層に導波路を形成した後、ガラス基板に均一な電界を印加し熔融塩中の $\text{Na}^+$ イオンをガラス表面に侵入させる。 $\text{Na}^+$ イオンは、 $\text{Ag}^+$ イオンが形成した最表面の高屈折率領域を表面下に移動させる。その結果、導波路がガラス表面下に埋め込まれ、低伝播損失特性が確保される。この方法で作成された光導波路のコアは、径 $10 \sim 200 \mu\text{m}$ の半円形又はほぼ円形の断面をもち、1%前後の屈折率差をもつものが多い。

【0003】火炎加水分解法では、四塩化シリコンと四塩化ゲルマニウムの火炎加水分解によりシリコン基板の

表面に下クラッド用及びコア用の二層のガラス微粒子層を堆積させ、高温加熱により微粒子層を透明ガラス層に改質する。次いで、フォトリソグラフィ及び反応性エッチングにより回路パターンをもつコア部を形成する。この方法で作成された光導波路は、膜厚が数 $\mu\text{m}$ と薄い。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】イオン交換法では、屈折率分布をイオン交換により調整しているため、形成された導波路構造がガラス表面に近い部分に限られる。導波路が作成可能なガラスも、イオン交換が可能な材料に限られる。また、イオン交換に長時間を要することから、生産性も低い。他方、火炎加水分解法は、導波路の作成工程が複雑であり、使用可能な材料も石英を主成分とするガラス組成に限られる。更には、基板表面に堆積した微粒子をガラス層に改質するため、円形の断面をもつ光導波路の作成が困難である。

【0005】更に、イオン交換法又は火炎加水分解法では、同一基板上に種々の二次元的パターンをもつ光導波路を形成できるものの、三次元的に組み合わせられた光導波路を形成することは困難である。そのため、光導波回路等として使用されるときに制約を受け、複雑な回路構成をもつ用途に適用できない。本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、ガラス材料の内部に集光させたレーザ光の集光点を相対的に移動させることにより、屈折率変化をもたらす構造変化をガラス材料の内部に起こさせ、光導波路を形成することを目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の光導波路は、その目的を達成するため、レーザ光の集光照射により屈折率が変化した部分がガラス材料の内部に連続して形成されていることを特徴とする。ガラス材料には、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス、カルコゲナイドガラス等が使用される。酸化物ガラスにはケイ酸塩系、硼酸塩系、磷酸塩系、弗磷酸塩系、ビスマス系等があり、ハロゲン化物ガラスには $\text{BeF}_2$ 系、 $\text{ZrF}_4$ 系、 $\text{InF}_3$ 系、 $\text{Cd-Zn-Cl}$ 系等があり、硫化物ガラスには $\text{Ga-La-S}$ 系等があり、カルコゲナイドガラスには $\text{Se-As}$ 系等がある。

【0007】この光導波路は、光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量をもつレーザ光をガラス材料の内部に集光し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させ、連続した屈折率変化領域をガラス材料の内部に形成することにより製造される。レーザ光としては、ガラスの種類によっても異なるが、光誘起屈折率変化を起こすためには、集光点における $10^5 \text{ W/cm}^2$ 以上のピークパワー強度をもつことが好ましい。ピークパワー強度は、1パルス当りの出力エネルギー(J)/パルス幅(秒)の比で表されるピーク出力(W)を照射単位面積当りで表した値である。ピークパワー強度が $10^5 \text{ W/cm}^2$ に

満たないと有効な光誘起屈折率変化が起こらず、光導波路が形成されない。ピークパワー強度が高いほど光誘起屈折率変化が促進され、光導波路が容易に形成される。しかし、過度に大きなエネルギー量のレーザ光を実用的に得ることは困難である。そこで、パルス幅を狭くすることによりピーク出力を高くしたパルスレーザの使用が好ましい。ガラス材料の内部に形成される導波路を滑らかな構造にするためには、パルスレーザの繰返し周波数を10 KHz以上に設定する。

【0008】レーザ光は、レンズ等の集光装置により集光される。このとき、ガラス材料の内部に位置するように集光点を調節する。この集光点をガラス材料の内部で相対移動させることにより、光導波路として働く連続した屈折率変化領域がガラス材料の内部に形成される。具体的には、レーザ光の集光点に対しガラス材料を連続的に移動させ、或いはガラス材料の内部でレーザ光の集光点を連続的に移動させることにより、集光点を相対移動させる。

【0009】

【作用】パルスレーザの照射によって屈折率が変化する現象は、光誘起屈折率変化と呼ばれており、P、Ce、Ge等を添加したシリカガラスの例が知られている。この現象は、紫外域に固有吸収をもつ酸素欠陥がガラス中に存在しており、吸収波長のレーザ光を照射することによって酸素欠陥の一部が構造変化することにより起因すると考えられており、発振波長が紫外域にあるエキシマレーザでの研究が進められている。しかし、この方法で使用するレーザ光は、10 KHz未満の低い繰返し周波数をもち、照射部分に十分なエネルギーを与えることができない。そのため、屈折率変化領域の形状がスポット的になり、連続的な屈折率変化を必要とする光導波路を形成するまでには至らない。また、平均出力が一定の状態

で、強制的に繰返し周波数を大きくした場合、パルス当りのエネルギーが低くなり、屈折率変化を誘起させること自体が困難になる。

【0010】これに対し、パルス幅を狭くすることで高いピーク出力が得られると、10 KHz以上の繰返し周波数をもつパルスレーザにおいても、ガラス組成に関係なく、レーザ光の集光点で屈折率が変化する現象を確認した。この条件下では、ガラスの固有吸収波長以外の波長をもつパルスレーザであっても、同様に集光点においてガラスの光誘起屈折率を変化させる現象が発生する。また、ガラスの固有吸収波長に一致する波長をもつパルスレーザであっても、吸収が弱く、集光点における10 W/cm<sup>2</sup>以上のピークパワー強度が確保されると光誘起屈折率変化が生じる。屈折率が変化する現象は、発生メカニズムが不明であるが、光導波路の作製に有効に利用される。また、繰返し周期が速いことから、ガラス材料を連続的に走査することにより、集光部分の軌跡に連続的な屈折率変化領域を形成できる。この屈折率変化

領域は、当初のガラスの屈折率より高いことから光導波路として利用される。

【0011】滑らかな導波路構造を形成させる上では、パルス間隔を狭く、換言すれば繰返し周期を速くし、第1パルスと第2パルスが可能な限り同時に照射される必要がある。このことから、本発明ではパルスレーザの繰返し周波数を10 KHz、好ましくは100 KHz以上に設定する。繰返し周波数が小さいとレーザ光が離散的に照射され、導波路の形成に必要な連続的な屈折率変化が得られない。なお、ガラス材料又はレーザ光の集光点の走査速度を遅くすることにより、ガラス材料に対して連続的にレーザ光を照射できる。しかし、この場合は第1パルス照射後に一定の時間をおいて第2パルスが重なった状態で照射されるため、第1パルスで形成された屈折率変化が第2パルスにより再変化を起こし、十分な屈折率変化が得られない。上限は、繰返し周波数が無限大の限りなく連続レーザに近いものである。しかし、繰返し周波数を大きくすると、一般に1パルス当りのエネルギーが弱くなる。そのため、実際にはガラス材料が屈折率変化を起こす閾値と、使用するレーザの出力によって繰返し周波数の上限が設定される。

【0012】

【実施例】

実施例1：

SiO<sub>2</sub>：95重量%，GeO<sub>2</sub>：5重量%の組成をもつ石英ガラスから、10mm×10mm×5mmの立方体形状の試料1を切り出した。この試料に、図1(a)に示すようにパルスレーザ光2をレンズ3で集光して照射した。パルスレーザ光2としては、アルゴンレーザ励起のTi：Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>レーザから発振されたパルス幅150フェムト秒、繰返し周波数200 KHz、波長800nm、平均出力600mWのレーザを使用した。パルスレーザ光2をレンズ3で集光し、試料1の内部に集光点4が生じるように照射させると、集光点4の屈折率が0.02上昇した。屈折率の変化は、ナノ秒又はピコ秒オーダーの極短時間で生じた。そこで、ガラス又は集光部分を連続的に移動し、図1(b)に示すように試料1の内部に直線状の屈折率が高い領域、すなわち光導波路5を形成した。

【0013】光導波路が形成されていることは、実際に可視光を試料に入射し、屈折率変化を起こしている部分のみに光が伝達されていることで確認した。また、出射側の近視野像から光導波路の断面が直径20μmの円形であることが判った。実施例1においてはGeドープしたシリカガラスを使用した例を説明したが、高純度のシリカガラス、リン酸塩ガラス、ホウ酸塩ガラス、フッ化物ガラス、塩化物ガラス、硫化物ガラス等の他のガラスにおいても同様にレーザ照射によって光導波路が形成された。得られた光導波路は、コアとクラッドとの間に明確な界面が存在しないことから界面損失が極めて少な

く、光集積回路等における微細な導波路形成法としての活用が期待される。

【0014】実施例2：

ZrF<sub>4</sub>：50モル%，LaF<sub>3</sub>：5モル%，AlF<sub>3</sub>：5モル%，BaF<sub>2</sub>：20モル%，NaF：20モル%の組成をもち、20mm×20mm×5mmの立方体形状をもつフッ化物ガラスを試料1として使用した。試料1の内部に焦点4を結ぶ（図2a）ように、パルス幅120フェムト秒、繰返し周波数50KHz、波長1μm、平均出力150mWのパルスレーザ光2を集光照射した。集光点4を円弧状に移動させたところ、図2

(b)に示すように周囲とは明確に異なるラインが集光点4の軌跡に沿って試料1の内部に形成されていることが光学顕微鏡による観察で確認された。形成されたライン、すなわち光導波路5は、直径12μmの円形断面をもっていた。

【0015】光導波路5の一端面からHe-Neレーザ光を入射したところ、光導波路5の他端面からレーザ光が出射されることを近視野像の光強度分布で確認し、レーザ照射によって形成されたラインが周囲に比較して屈折率が高く、光導波構造になっていることが判った。また、光導波路5に繰返しレーザ光を集光照射すると、光導波路5の端面から出射される光強度も増加し、レーザ照射の繰返しにより屈折率変化も増大することが確認された。また、パルス幅及び繰返し周波数を一定に保ち、\*

\*レーザ光の波長を400nmから2μmまで変化させながらフッ化物ガラスに照射し、光導波路を形成した。この場合も、光出射端面の近視野像の光強度分布から、同様な光導波路がガラス内部に形成されていることが判った。

【0016】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明においては、ピーク出力値が高いパルスレーザをガラス等のガラス材料に照射し、集光点の屈折率を変化させることにより、ガラス材料の内部に光導波路を書き込んでいる。この方法は、複雑な工程を経ることなく、しかも簡単に光導波路を形成できる利点をもっている。また、パルスレーザの光軸方向に対するガラス材料の走査方向、或いはガラス材料に対する集光点の移動方向を変えることで光導波路の形状も任意に制御でき、複雑な回路構造をもつ光集積回路等に適した三次元的な光導波路も容易に作製される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 石英ガラスにパルスレーザ光を照射し

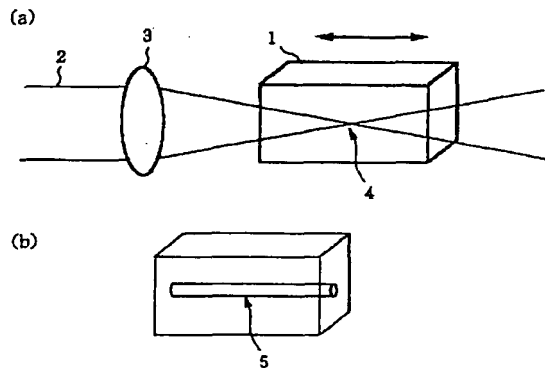
(a)、ガラス内部に作成した光導波路(b)

【図2】 フッ化物ガラスにパルスレーザ光を照射し

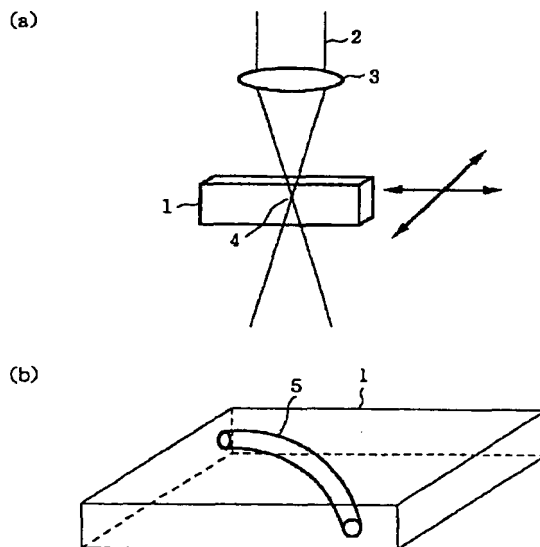
(a)、ガラス内部に作成した光導波路(b)

1：ガラス試料 2：パルスレーザ光 3：集光レンズ 4：集光点 5：光導波路

【図1】



【図2】



【手続補正書】

【提出日】平成9年1月23日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正内容】

【0011】滑らかな導波路構造を形成させる上では、パルス間隔を狭く、換言すれば繰返し周期を速くし、第1パルスと第2パルスが可能な限り同時に照射される必要がある。このことから、本発明ではパルスレーザの繰返し周波数を10KHz、好ましくは100KHz以上に設定する。繰返し周波数が小さいとレーザ光が離散的に照射され、導波路の形成に必要な連続的な屈折率変化が得られない。なお、ガラス材料又はレーザ光の集光点の走査速度を遅くすることにより、ガラス材料に対して連続的にレーザ光を照射できる。しかし、この場合は第

1パルス照射後に一定の時間において第2パルスが重なった状態で照射されるため、第1パルスで形成された屈折率変化が第2パルスにより再変化を起し、十分な屈折率変化が得られない。上限は、繰返し周波数が無限大の限りなく連続レーザに近いものである。しかし、繰返し周波数を大きくすると、一般に1パルス当りのエネルギーが弱くなる。そのため、実際にはガラス材料が屈折率変化を起こす閾値と、使用するレーザの出力によって繰返し周波数の上限が設定される。光導波路のコア径は、照射するパルスレーザのパワーや集光スポット径を変えることにより制御可能である。パルスレーザのパワー又は集光スポット径が大きくなるほど、コア径も大きくなる。また、パルスレーザの走査回数によってコア部分の屈折率の変化量を制御することでき、走査回数を多くするほど、コア径一定のままで屈折率の変化量を大きくすることができる。

